

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

013031057 **Image available**

WPI Acc No: 2000-202908/ 200018

XRPX Acc No: N00-151389

View point position determining method, involves viewing through camera
three landmarks in plane and acquiring their coordinates and depth
information to determine camera position

Patent Assignee: SYSTEM KENKYUSHO KK (SYST-N)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 2000041173	A	20000208	JP 98208307	A	1998072	200018 B

Priority Applications (No Type Date): JP 98208307 A 19980723

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 2000041173	A	14	H04N-005/232	

Abstract (Basic): JP 2000041173 A

NOVELTY - Images of three predetermined marks in a plane are
acquired with a camera. With the image coordinates, depth to the marks
is obtained, and camera position with respect to the marks is
determined.

USE - To determine position of camera, position sensor, stationed
at view point.

ADVANTAGE - Enables determination of view point position correctly
using three landmarks.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the relationship
between the camera and the three land marks.

pp; 14 DwgNo 1/15

Title Terms: VIEW; POINT; POSITION; DETERMINE; METHOD; VIEW; THROUGH;
CAMERA; THREE; LANDMARK; PLANE; ACQUIRE; COORDINATE; DEPTH; INFORMATION;
DETERMINE; CAMERA; POSITION

Derwent Class: W04

International Patent Class (Main): H04N-005/232

International Patent Class (Additional): H04N-005/247

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): W04-M01; W04-M01D

? s pn=jp 2000354230

S4 1 PN=JP 2000354230

? t s4/9

4/9/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

013659851 **Image available**

WPI Acc No: 2001-144063/ 200115

XRPX Acc No: N01-105710

Video-on-demand system has deletion unit to remove lead portion of
forwarding block, containing flag, in encoded interframe picture, when
flag is present

Patent Assignee: NEC CORP (NIDE)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 2000354230	A	20001219	JP 99165149	A	19990611	200115 B

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-41173

(P2000-41173A)

(43) 公開日 平成12年2月8日 (2000.2.8)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 4 N 5/232
5/247

識別記号

F I

H 0 4 N 5/232
5/247

テマコード (参考)

B 5 C 0 2 2

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-208307

(22) 出願日 平成10年7月23日 (1998.7.23)

(71) 出願人 397024225

株式会社エム・アール・システム研究所
神奈川県横浜市西区花咲町6丁目145番地

(72) 発明者 佐藤 清秀

横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花
咲ビル 株式会社エム・アール・システム
研究所内

(72) 発明者 山本 裕之

横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花
咲ビル 株式会社エム・アール・システム
研究所内

(74) 代理人 100076428

弁理士 大塚 康徳 (外2名)

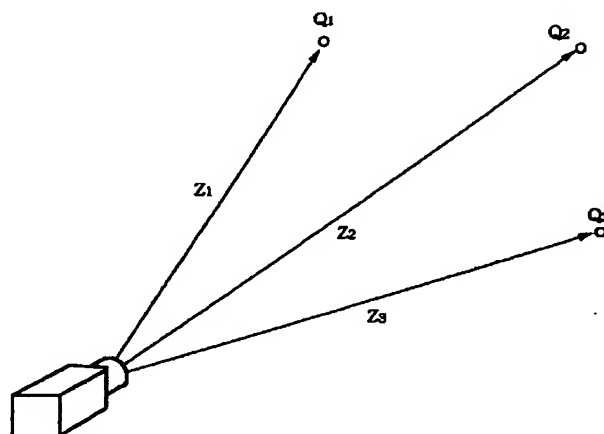
Fターム (参考) 5C022 AB61 AB68 AC69 CA01

(54) 【発明の名称】 視点位置姿勢の決定方法、カメラ装置、及び視点位置センサ

(57) 【要約】

【課題】 三点のランドマークを用いて、カメラの位置姿勢を検出する装置を提案するものである。

【解決手段】 所定の面内に置かれた3つのマークの画像をカメラを用いて取得し、この画像内で前記3つのマークの画像座標を夫々取得し、前記3つのマークの奥行き情報を得、前記マークについて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算して出力することを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の面内に置かれた3つのマークの画像をカメラを用いて取得し、この画像内で前記3つのマークの画像座標を夫々取得し、

前記3つのマークの奥行き情報を得、

前記マークについて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算して出力することを特徴とする視点位置姿勢の決定方法。

【請求項2】 前記3つのマークの奥行き情報を、単眼カメラとこのカメラに設けられた位置姿勢センサの出力とに基づいて検出することを特徴とする請求項1に記載の視点位置姿勢の決定方法。

【請求項3】 前記3つのマークの奥行き情報を、ステレオカメラと三次元位置姿勢センサの出力とによって求めることを特徴とする請求項1乃至2のいずれかに記載の視点位置姿勢の決定方法。

【請求項4】 少なくとも1つのマークの奥行き情報が得られる時は、仮想のマークの奥行き情報を設定することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の視点位置姿勢の決定方法。

【請求項5】 前記3つのマークを、同一直線上に乗っていない、世界座標で $Z=0$ 面上のマークに選ぶことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の視点位置姿勢の決定方法。

【請求項6】 前記3つのマークを、同一直線上に乗っていない、世界座標で $Z=0$ 平面でない任意の平面上のマークに選ぶ場合には、 $Z=0$ 平面でない前記任意の平面から $Z=0$ 平面への変換行列を求め、この変換行列によって変換されたランドマークの世界座標を用いて、カメラのパラメータを決定することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の視点位置姿勢の決定方法。

【請求項7】 画像と共に位置姿勢データを出力するカメラ装置であって、

所定の面内に置かれた3つのマークの画像を撮影するカメラと、このカメラで取り込まれたマークの画像の座標値を演算する手段と、

前記3つのマークの奥行き情報を得る手段と、

前記マークについて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算する手段とを具備することを特徴とするカメラ装置。

【請求項8】 頭部の位置姿勢センサであって、頭部近傍に取り付けられ、所定の面内に置かれた3つのマークの画像を撮影するカメラと、このカメラで取り込まれたマークの画像座標値を求める手段と、

前記3つのマークの奥行き情報を得る手段と、

前記マークについて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算して出力する手段とを具備することを特徴とする位置姿勢センサ。

【請求項9】 請求項1乃至6のいずれかに記載の視点位置姿勢の決定方法をコンピュータに実行させるプログラムを記憶する記憶媒体。

【請求項10】 3つのマークの、画像座標を (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、奥行き情報を z_1, z_2, z_3 、世界座標値を $(X_{w1}, Y_{w1}, 0)$ 、 $(X_{w2}, Y_{w2}, 0)$ 、 $(X_{w3}, Y_{w3}, 0)$ とすると、カメラのパラメータ行列は、

【数1】

$$U' = \begin{pmatrix} x_1 z_1 & x_2 z_2 & x_3 z_3 \\ y_1 z_1 & y_2 z_2 & y_3 z_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix}$$

【数2】

$$W' = \begin{pmatrix} X_{w1} & X_{w2} & X_{w3} \\ Y_{w1} & Y_{w2} & Y_{w3} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

とすると、

【数3】

$$C' = U' \cdot W'^{-1}$$

によって与えられた行列 C' から求めることを特徴とするカメラの位置姿勢検出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、視点位置姿勢の決定方法、カメラ装置、位置姿勢センサに関し、特に、カメラの視点位置を、3つのマークによって決定する方法などの改良に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、現実空間と仮想空間の融合を目的とした複合現実感(MR: Mixed Reality)に関する研究が盛んになっている。その中でも、現実空間に仮想空間の情報を重畳表示する技術は「オーグメンティッド・リアリティ」(AR: Augmented Reality)と呼ばれている。

【0003】ARの実現手段は、大きく2つに分類できる。1つは透過型のHMD(Head-Mounted Display)を利用して、表示面越しに見える現実世界の光景に仮想物体の映像を重畳する方式で、「光学シースルー方式」と呼ばれている。もう1つは、ビデオカメラで撮影された映像に仮想物体を重畳描画する方式で、「ビデオシースルー方式」と呼ばれている。いずれの方式においても、2つの空間の自然な融合を実現するためには、「位置合わせ」、「画質の一致」、「3次元空間合成」(前後関係や衝突の表現)といった要因について取り組まなくては

ならない。中でも「位置合わせ」は、ARを実現するための最も基本的でかつ重要な要因といえる。

【0004】ARにおける位置合わせとは、基本的に観察者の視点（光学シースルー方式の場合）やカメラ（ビデオシースルー方式の場合）の位置や方位などのパラメータを計測・推定することである。これには、大きく2つの方式が用いられる。1つは磁気センサや超音波センサといった3次元位置方位センサを用いる「センサベース」の方式であり、もう1つは主にビデオシースルー方式のARで用いられる「画像ベース」の位置合わせ方式である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】センサベースの位置合わせ方式は、動作の安定性の面では優れているものの、ARに用いるには精度的に不十分な場合が多い。一方、画像ベースの位置合わせ方式は、融合の対象となる現実の画像情報を位置合わせに直接利用することで、精度の高い位置合わせが可能である。そこには、コンピュータビジョン分野で研究されてきた各種カメラ・キャリブレーションの手法を応用することが考えられる。しかし、AR

ではリアルタイム処理の制約のもとで各種処理を実装する必要があり、そのようなアルゴリズムではランドマークの抽出／識別処理に誤差が生じやすく、動作が不安定になるという課題を有している。

【0006】位置あわせについて、従来の手法について説明する。なお以下では、説明の簡略化のために、カメラ座標系から画像座標系への投影は理想的な透視投影のモデルに基づいて行われていると仮定する。すなわち、画像の歪みや中心のずれ、アスペクト比といった要因は事前に計測されており、画像座標抽出の段階で除去されているものとする。

【0007】まず、カメラパラメータ推定の基本形について説明する。3次元空間中のランドマーク Q_i （世界座標 $Q_{wi} = (X_{wi}, Y_{wi}, Z_{wi}, 1)$ ）が、カメラにより、画像座標 $q_i = (x_i, y_i)$ で撮像されたとする。このカメラについて透視投影を仮定すると、この投影は、34の変換行列 C によって、

【0008】

【数4】

$$\begin{pmatrix} x_i \cdot h_i \\ y_i \cdot h_i \\ h_i \end{pmatrix} = C \cdot Q_{wi} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{wi} \\ Y_{wi} \\ Z_{wi} \\ 1 \end{pmatrix}$$

…(1)

と表わすことができる。ここで h_i は媒介変数である。この(1)式を展開すると、

【0009】

【数5】

$$\begin{aligned} x_i \cdot h_i &= a_{11}X_{wi} + a_{12}Y_{wi} + a_{13}Z_{wi} + a_{14} \\ y_i \cdot h_i &= a_{21}X_{wi} + a_{22}Y_{wi} + a_{23}Z_{wi} + a_{24} \\ h_i &= a_{31}X_{wi} + a_{32}Y_{wi} + a_{33}Z_{wi} + a_{34} \end{aligned}$$

…(2)

が得られる。(2)の第3式から媒介変数 h_i を消去することができる。また、ランドマークの世界座標値(X_{wi} , Y_{wi} , Z_{wi})は既知であり、そのランドマークに対して画像上で観測座標値(x_i , y_i)が得られたのであるから、1点のランドマークについての1対の世界座標値と観測座標値は、(2)式の第1と第2の2つの式を与える。

【0010】行列 C は 3×4 であるから、この12個の未知数、即ち、行列要素を有する。1つのランドマークは2つの式を与えるから、この行列 C を決定するためには、同一平面上にない6点($i = 1, 2 \dots 6$)以上の(既知の)ランドマークが画像上で観察されていればよいことになる。この行列 C をいかに求めるかが、カメラパラメータの推定、すなわち、位置合わせの問題である。

【0011】奥行き情報を利用してカメラのパラメータを推定することが提案されている。以下に、奥行き情報を利用してカメラのパラメータを推定する方法を説明する。式(1)における媒介変数 h_i は、カメラ座標系におけるランドマーク Q_i の奥行き値 Z_{ci} と比例関係にあり、ある定数 k を用いて、

【0012】

【数6】

$$h_i = k \cdot Z_{ci}$$

…(3)

と表わすことができる。また、この比例関係を満たす値であれば、 k の値は任意に選ぶことができる。今、ランドマーク Q_i に対する奥行きの尺度として、

【0013】

【数7】

$$Z_{ci} \propto z_i$$

…(4)

を満たすような値 z_i が得られているとする。この場合、 z_i を式(1)の h_i に代入することで、1点のランドマークについて次の3つの式を得る。

【0014】

【数8】

$$\begin{aligned}x_i \cdot z_i &= a_{11} X_{wi} + a_{12} Y_{wi} + a_{13} Z_{wi} + a_{14} \\y_i \cdot z_i &= a_{21} X_{wi} + a_{22} Y_{wi} + a_{23} Z_{wi} + a_{24} \\z_i &= a_{31} X_{wi} + a_{32} Y_{wi} + a_{33} Z_{wi} + a_{34}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(X_{w1}, Y_{w1}, Z_{w1}) \\(X_{w2}, Y_{w2}, Z_{w2}) \\(X_{w3}, Y_{w3}, Z_{w3}) \\(X_{w4}, Y_{w4}, Z_{w4})\end{aligned}$$

と与えられ、画像座標系で、座標値が、

$$\begin{aligned}(x_1, y_1, z_1) \\(x_2, y_2, z_2) \\(x_3, y_3, z_3) \\(x_4, y_4, z_3)\end{aligned}$$

…(6)

と観測された場合、

【0015】

【数9】

$$U = \begin{pmatrix} x_1 \cdot z_1 & x_2 \cdot z_2 & x_3 \cdot z_3 & x_4 \cdot z_4 \\ y_1 \cdot z_1 & y_2 \cdot z_2 & y_3 \cdot z_3 & y_4 \cdot z_4 \\ z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \end{pmatrix}$$

…(8)

【0016】

$$U = C \cdot W$$

と表わせるので、行列Cは次式によって求められる。

$$C = UW^{-1}$$

ここで、行列 W^{-1} は、既知のランドマークの世界座標の組によって表現される行列 W の逆行列であり、予め計算しておくことができる。したがって、カメラパラメータ ($C = \{a_{ij}\}$) の推定問題は、従来においては、いかにして行列 U 、すなわち、4点のランドマークの画像座標 (x_i, y_i) とその奥行き z_i を得るかという問題に帰着する。

【0018】ランドマークの奥行き z_i を得るには、例えば、Mellor (J. P. Mellor: Realtime camera calibration for enhanced reality visualization, Proc. CVRMed 95, pp.471-475, 1995.) は、ランドマークの見かけの大きさの情報を利用する手法を提案した。このMellorの手法は、ランドマークの見かけの大きさ s_i が視点からランドマークまでの距離に反比例することを利用し、こうして得られた s_i の逆数 $1/s_i$ を式(6)の z_i として用いることで、4点のランドマークを用いた位置合わせを行うものである。

【0019】このように、カメラパラメータの推定にランドマークの奥行き情報を用いる場合でも、前述したように、4点のランドマークが必要であった。カメラの配置に拘束を課すことによっても、カメラパラメータを推定することができる。中沢ら (中沢, 中野, 小松, 斎藤: 画像中の特徴点に基づく実写画像とCG画像との動画像合成システム, 映像情報メディア学会誌, Vol. 51, N

…(5)

ここで、同一平面上にない4点 (または以上) のランドマークの世界座標値が、

$$W = \begin{pmatrix} X_{w1} & X_{w2} & X_{w3} & X_{w4} \\ Y_{w1} & Y_{w2} & Y_{w3} & Y_{w4} \\ Z_{w1} & Z_{w2} & Z_{w3} & Z_{w4} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

…(9)

と表記すると、式(5)は、

…(10)

【0017】

…(11)

o.7, pp.1086-1095, 1997.) は、 $Z=0$ の平面を利用してカメラパラメータを推定する方法を提案している。即ち、全てのランドマークが世界座標系における $Z=0$ の平面に配置されているという前提に基づいて、4点のランドマークに同一平面上にあるという拘束を課して、カメラパラメータを推定するというものである。また、大隈ら (大隈, 清川, 竹村, 横矢: ビデオスルー型拡張現実感のための実画像からのカメラパラメータの実時間推定, 信学技報, PRMU97-113, 1997.) は、焦点距離を既知とすることで、中沢らの手法をさらに簡略化した位置合わせを実現した。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の3つの先行技術の手法は、いずれも、4点のランドマークを必要とするものであり、リアルタイム処理の面で問題があった。たしかに、3点のランドマークによる提案 (例えば、Fisher) も存在するが、これには煩雑な非線形方程式を解く必要があり、またその解は複数存在するものであり、一意な解を得ることができず、従って、カメラパラメータを決定することはできていなかったといっても過言ではない。

【0021】本発明は従来技術のこのような欠点に鑑みてなされたもので、その目的は、3点のランドマークから、カメラの位置姿勢を表すカメラパラメータを一意的に

決定することができる視点位置の決定方法、カメラ装置、カメラの位置姿勢検出方法などを提案することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】上記課題を達成するための、本発明の請求項1にかかる方法は、所定の面内に置かれた3つのマークの画像をカメラを用いて取得し、この画像内で前記3つのマークの画像座標を夫々取得し、前記3つのマークの奥行き情報を得、前記マークに基づいて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算して出力することを特徴とする。

【0023】本発明は、種々のカメラやセンサの組合せに適用可能である。本発明の好適な一態様である請求項2に拠れば、前記3つのマークの奥行き情報を、単眼カメラとこのカメラに設けられた位置姿勢センサの出力とに基づいて検出することを特徴とする。また、本発明の好適な一態様である請求項3に拠れば、前記3つのマークの奥行き情報を、ステレオカメラと三次元位置姿勢センサの出力とによって求めることを特徴とする。

【0024】マークの奥行き情報は常に完全に得られる必要はない。単に、三珠まで表示することが目的でなれば、本発明の好適な一態様である請求項4の如く、少なくとも1つのマークの奥行き情報が得られる時は、仮想のマークの奥行き情報を設定する。本発明の好適な一態様である請求項5に拠れば、前記3つのマークを、同一直線上に乗ってない、世界座標で $Z=0$ 面上のマークに選ぶことを特徴とする。

【0025】本発明の好適な一態様である請求項6に拠れば、前記3つのマークを、同一直線上に乗ってない、世界座標で $Z=0$ でない任意の平面上のマークに選ぶ場合には、 $Z=0$ でない前記任意の平面から $Z=0$ 平面への変換行列を求め、この変換行列によって変換されたランドマークの世界座標を用いて、カメラのパラメータを決定することを特徴とする。

【0026】上記目的は、請求項6のカメラ装置によっても達成される。例えば、画像と共に位置姿勢データを出力するカメラ装置は、所定の面内に置かれた3つのマークの画像を撮影するカメラと、このカメラで取り込まれたマークの画像の座標値を演算する手段と、前記3つのマークの奥行き情報を得る手段と、前記マークに基づいて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算する手段とを具備することを特徴とする。

【0027】上記課題は、頭部の位置姿勢センサに依っても達成される。この場合の位置姿勢センサは、請求項7のように、頭部近傍に取り付けられ、所定の面内に置かれた3つのマークの画像を撮影するカメラと、このカメラで取り込まれたマークの画像座標値を求める手段と、前記3つのマークの奥行き情報を得る手段と、前記

マークについて得られた、画像座標と奥行き情報とに基づいて、前記カメラの位置姿勢決定のためのパラメータを演算して出力する手段とを具備する。

【0028】上記課題は、請求項8のように、3つのマークの、画像座標を (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 、奥行き情報を z_1, z_2, z_3 、世界座標値を $(X_{w1}, Y_{w1}, 0)$ 、 $(X_{w2}, Y_{w2}, 0)$ 、 $(X_{w3}, Y_{w3}, 0)$ とすると、カメラのパラメータ行列は、

【0029】

【数11】

$$U' = \begin{pmatrix} x_1 z_1 & x_2 z_2 & x_3 z_3 \\ y_1 z_1 & y_2 z_2 & y_3 z_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix}$$

【0030】

【数12】

$$W' = \begin{pmatrix} X_{w1} & X_{w2} & X_{w3} \\ Y_{w1} & Y_{w2} & Y_{w3} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

とすると、

【0031】

【数13】

$$C' = U' \cdot W'^{-1}$$

によって与えられる行列 C から求めることを特徴とする。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しながら、本発明の実施形態を説明する。本発明の発明者たちは、実施形態の手法を、中沢らの手法を拡張したものとして位置づけている。本実施形態の手法は、3点のランドマークによって位置合わせする、即ち、カメラパラメータの推定を可能にするものである。

【0033】まず、中沢らの手法を本発明の発明者の観点から体系化する。

〈 $Z=0$ 平面を利用した推定〉世界座標系におけるランドマークの Z 座標を全て0とすると、ランドマークを画像上で観測する時の投影関係を表わす座標変換行列は、

(1)式の行列 C の第3列(Z 座標に関する成分)を省略した 3×3 の行列だけで表現することができ、それ C として表わすとする。こうすると、ランドマークの、世界座標系から画像座標系への投影は、(1)式よりも単純化されて、次式のように記述できる。

【0034】

【数14】

$$\begin{pmatrix} x_i \cdot h_i \\ y_i \cdot h_i \\ h_i \end{pmatrix} = C' \cdot P_{wi} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{wi} \\ Y_{wi} \\ 1 \end{pmatrix}$$

… (12)

この式を展開して、

【0035】

【数15】

$$x_i \cdot h_i = a_{11} X_{wi} + a_{12} Y_{wi} + a_{14}$$

$$y_i \cdot h_i = a_{21} X_{wi} + a_{22} Y_{wi} + a_{24}$$

$$h_i = a_{31} X_{wi} + a_{32} Y_{wi} + a_{34}$$

… (13)

が得られる。(13)の第3式を第1式、第2式に代入して媒介変数 h_i を消去すると、1点のランドマーク (X_{wi} , Y_{wi})

$$C = P \cdot M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31}f & a_{32}f & a_{33}f & a_{34}f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

… (14)

一方、前述の行列Cも同様に、行列Pと、行列Mの第3列を省略した行列M (4x3)とによって、次式のように記述することができる。

【0038】

【数17】

$$C' = PM' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31}f & a_{32}f & a_{34}f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

… (15)

即ち、行列Cの各要素は上述の如く求まっているので、カメラの焦点距離 f が既知であれば、行列M'の各要素はその行列C'から容易に求める事ができる。また、行列M

$$\begin{pmatrix} x_i \cdot h_i \\ y_i \cdot h_i \\ h_i \end{pmatrix} = C' \cdot P_{wi} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{wi} \\ Y_{wi} \\ 1 \end{pmatrix}$$

… (16)

この式における媒介変数 h_i は、カメラ座標系におけるランドマーク Q_i (Q_1, Q_2, Q_3)の奥行き値 Z_{Ci} と比例関係にあり、ある定数 k を用いて、

【0041】

【数19】

$$h_i = k \cdot Z_{Ci}$$

w_i)について2つの式が得られる。ここで、 $a_{34} = 1$ とすると、行列Cについての未知数が $a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{21}, a_{22}, a_{24}, a_{31}, a_{32}$ という8個となることから、4点以上のランドマーク (X_{wi}, Y_{wi}) ($i = 1, 2, 3, 4$)を観測することで、行列Cを求めることができる。

【0036】このようにして得られた行列Cから行列Cの第3列成分 (a_{13}, a_{23}, a_{33})を求めることで、カメラパラメータCを推定することができる。行列Cから行列Cを求めることの手順を以下にさらに詳しく説明する。一般に、世界座標系から画像座標系への座標変換を表わす行列C (3x4)は、カメラの焦点距離を f とすれば、カメラ座標系から画像座標系への透視変換行列P (3x4行列)と、世界座標系からカメラ座標系への座標変換行列M (4x4行列)によって、次式のように記述できる。

【0037】

【数16】

の第3列はカメラ座標系の z 軸を表わしており、これは、行列Mの(すなわち行列Mの)第1列(x 軸)と第2列(y 軸)が表わす2つのベクトルに直交するベクトルとして求めることができる。したがって、行列Mは行列Mから推定可能であり、こうして得られた行列Mを式(14)に代入することで、カメラパラメータを表わす行列Cを獲得することができる。即ち、4点のランドマークを $Z=0$ 平面上に拘束することによって、カメラパラメータCを得ることができる。

【0039】〈3点によるカメラパラメータ行列Cの推定〉第1図に示すように、3点のランドマーク(Q_1, Q_2, Q_3)の、世界座標系から画像座標系への投影は、(12)式と同じように、次式のように記述できる。

【0040】

【数18】

… (17)

と表わすことができる。また、この比例関係を満たす値であれば、 k の値は任意に選ぶことができる。今、ランドマーク Q_i に対する奥行きの尺度として、

【0042】

【数20】

$$Z_{Ci} \propto z_i$$

…(18)

を満たすような値 z_i (z_1, z_2, z_3)が得られているとする。この場合、 z_i を式(16)の h_i に代入することで、1点のランドマークについて次の3つの式を得る。

【0043】

【数21】

$$\begin{aligned}x_i \cdot z_i &= a_{11} X_{wi} + a_{12} Y_{wi} + a_{14} \\y_i \cdot z_i &= a_{21} X_{wi} + a_{22} Y_{wi} + a_{24} \\z_i &= a_{31} X_{wi} + a_{32} Y_{wi} + a_{34}\end{aligned}$$

…(19)

同一直線上にない3点以上のランドマークを観測した場合、

【0044】

【数22】

$$U' = \begin{pmatrix} x_1 z_1 & x_2 z_2 & x_3 z_3 \\ y_1 z_1 & y_2 z_2 & y_3 z_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix}$$

…(20)

【0045】

【数23】

$$W' = \begin{pmatrix} X_{w1} & X_{w2} & X_{w3} \\ Y_{w1} & Y_{w2} & Y_{w3} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

…(21)

と表記すると、式(16)の関係は、

【0046】

【数24】

$$C = P \cdot M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} \cdot f & a_{32} \cdot f & a_{33} \cdot f & a_{34} \cdot f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

… (26)

と表すことができ、行列Cも同様に、

【0050】

【数28】

$$C' = P M' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31} f & a_{32} f & a_{34} f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

… (27)

と表すことができる。カメラの焦点距離 f が既知であれ

$$U' = C' \cdot W'$$

…(22)

と表わすことができるので、行列Cの第3列(Z座標に関する成分)を省略した3x3の行列であるところの、行列Cは

【0047】

【数25】

$$C' = U' \cdot W'^{-1}$$

…(23)

によって得ることができる。そして、得られたCからカメラパラメータCを前述の手法と同じように求めることができる。即ち、カメラ座標系から画像座標系への透視変換行列をP(3x4行列)、世界座標系からカメラ座標系への座標変換行列Mを(4x4行列)とすると、

【0048】

【数26】

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix}$$

…(24)

$$M = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} \cdot f & a_{32} \cdot f & a_{33} \cdot f & a_{34} \cdot f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

…(25)

であり、行列C(3x4)は

【0049】

【数27】

ば、行列Mの要素は、前述したように、行列Cから容易に求めることができる。そして、行列Mの第3列は、行列Mの(すなわち行列Mの)第1列(x軸)と第2列(y軸)が表わす2つのベクトルに直交するベクトルとして求めることができる。したがって、行列Mは行列Mから推定可能であり、こうして得られた行列Mを式(26)に代入することで、カメラパラメータを表わす行列Cを獲得することができる。即ち、3点のランドマークをZ=0平面に拘束することによって、カメラパラメータCを得ることができた。

【0051】即ち、式(23)の行列 W^{-1} は、3点の既知のランドマークの世界座標の組であり、予め計算しておく

ことができる。したがって、カメラパラメータの推定問題は、行列 U 、すなわち、3点のランドマークの画像座標と、その奥行き z_i を求める問題に帰着する。なお、3点のランドマーク Q_i は必ず1つの平面上に存在するが、その平面が、第2図に示すように、世界座標系の $Z = 0$ 平面でない場合がある。このような場合でも、そ

$$P^N_{wi} = NQ_i$$

であり、式(16)乃至式(27)を満足しなくてはならない。即ち、変換された座標 P^N_{wi} について式(16)乃至式(27)を

$$C = C^{(N)} N$$

とすることで、正しいカメラパラメータ C が導出される。

【0052】

【実施例】第3図は、実施例のカメラパラメータ決定装置の構成を示す。この決定装置は、同図に示すように、奥行き推定モジュール100と座標検出モジュール200とパラメータ推定モジュール300とからなる。前述したように、本発明の本質は、3つのランドマークの画像座標と、そのランドマークまでの奥行き情報を得て、式(23)の行列 U を求めることにより、ARにおけるカメラ位置を決定することである。第3図の装置では、奥行き情報を得るために、例えば、三次元位置方位センサ（磁気センサ）と1つ以上のカメラを具備することが可能である。従って、本装置に、三次元センサが接続されているのか否か、あるいは、カメラが何台接続されているのか、あるいは、対象のランドマークがその奥行き情報を得ることができる程度に撮像されているのか否かによっても、本装置の動作は異なる。以下、本装置の動作について、入力装置の種々の形態に従って説明する。

【0053】尚、実施例の決定装置は、ソフトウェアによってもハードウェアによっても実現可能であり、第3図の構成は一例に過ぎない。

〈ステレオによる位置合わせ〉…第1実施例

第1実施例は、第3図の装置が、ランドマークの画像を入力するのにステレオカメラを有する場合におけるカメラパラメータの決定手法である。

【0054】ビデオスルー方式のARにおいて観察者の左右の眼に視差画像を提示するためには、HMDにステレオカメラを装着し、それぞれのカメラの映像に対して位置合わせを行う必要がある。第1実施例では、位置合わせの手掛かりとして、この2台のカメラから得られる情報を利用するものである。ステレオカメラを用いて位置合わせを行う場合、両カメラによって得られた画像間でのランドマークの対応関係を求めることで、ランドマークまでの距離情報 z_i が得られる。

【0055】説明を簡単にするために、2台のステレオカメラの光軸が互いに平行で、かつ基線と直交し、画像座標系の x 軸と平行なエピポーラ線を持つように正規化されていると仮定する。ランドマーク Q_i が、右画像上の点 $q^R_i = (x^R_i, y^R_i)$ として、また、左画像上の点 $q^L_i =$

の3点 Q_i のランドマークが配置された平面から、 $Z = 0$ 平面への座標変換行列 N (4×4)は必ず存在し、また容易に求めることができる。したがって、そのような座標変換行列 N によって変換された各ランドマークの世界座標 P^N_{wi} は、

$$\dots (28)$$

説いて得たカメラパラメータ行列を $C^{(N)}$ とすると、

$$\dots (29)$$

(x^L_i, y^L_i) として観測されたとする（ただし、 $y^R_i = y^L_i$ ）。このとき、第4図に示すように、対応点間の視差 $d_i (= x^L_i - x^R_i)$ は、 Q_i の奥行き z_i と反比例の関係にある。

【0056】

【数29】

$$z_i \propto \frac{1}{d_i}$$

$$\dots (30)$$

したがって、3点のランドマークの対応点を得ることによって、行列 U を、

【0057】

【数30】

$$U' = \begin{pmatrix} x_1^R/d_1 & x_2^R/d_2 & x_3^R/d_3 \\ y_1^R/d_1 & y_2^R/d_2 & y_3^R/d_3 \\ 1/d_1 & 1/d_2 & 1/d_3 \end{pmatrix}$$

$$\dots (31)$$

とおくことで、右カメラのパラメータ、即ち、座標変換行列 C^R を得ることができる。さらに、

【0058】

【数31】

$$x_i^L \cdot z_i = (x_i^R - d_i)/d_i = x_i^R \cdot z_i - 1$$

$$\dots (32)$$

となることから、左カメラのパラメータ、即ち、座標変換行列 C^L は、

【0059】

【数32】

$$C^L = \begin{pmatrix} a_{11}^R & a_{12}^R & a_{13}^R & a_{14}^R - 1 \\ a_{21}^R & a_{22}^R & a_{23}^R & a_{24}^R \\ a_{31}^R & a_{32}^R & a_{33}^R & a_{34}^R \end{pmatrix}$$

$$\dots (33)$$

として、容易に求められる。ここで、 a^R_{jk} は右カメラの座標変換行列 C^R の各要素を表わしている。尚、ステレオカメラの光軸が互いに平行でなくて、輻輳している場合

でも、透視変換行列 P (3x4)が既知であり、また、カメラ間の相対位置が与えられていれば、ランドマーク Q_i の右カメラ座標系における奥行き値 Z_{Ci}^R は、そのステレオ画像上での対応関係から容易に求められる。したがって、行列 U を、

【0060】

【数33】

$$U' = \begin{pmatrix} x_1^R \cdot Z_{C1}^R & x_2^R \cdot Z_{C2}^R & x_3^R \cdot Z_{C3}^R \\ y_1^R \cdot Z_{C1}^R & y_2^R \cdot Z_{C2}^R & y_3^R \cdot Z_{C3}^R \\ Z_{C1}^R & Z_{C2}^R & Z_{C3}^R \end{pmatrix}$$

…(34)

とおくことで、右カメラの座標変換行列 C^R が求められる。

〈単眼画像とセンサによる位置合わせ〉…第2実施例第1実施例は、第3図の装置が、ランドマークの画像を入力するのにステレオカメラを有するシステムに本発明を適用したものであった。第2実施例は、単眼のカメラと三次元位置方位センサを有するシステムに本発明を適用した場合におけるカメラパラメータの決定手法である。

【0061】画像ベースとセンサベースの位置合わせ手法の相互の欠点を補うために、画像とセンサ双方の情報を用いて位置合わせを行う試みがなされている。これには、画像ベースの位置合わせを安定化させるためにセンサの情報を利用する考え方と、センサベースの位置合わせを主として捉え、その誤差を画像情報によって補正する考え方がある。第2実施例では、センサベースの位置合わせにおける位置ずれを、単眼画像情報を用いて補正する手法を以下に説明する。

【0062】〈3点が観測されている場合〉…第2-1実施例

画像上で3点のランドマークが抽出されている状況を想定する。前述したように、各ランドマークの奥行き情報が利用可能であれば、その3点のランドマークを用いて式(23)を解くことができる。ここでは、3次元位置方位センサによって大まかなカメラの位置姿勢情報が利用可能であるので、この情報に基づいて、各ランドマークの奥行き情報を導出する。

【0063】いま、ランドマーク Q_i ($i=1, 2, 3$)が、画像上の点 $q_i=(x_i, y_i)$ ($i=1, 2, 3$)として抽出されているとする。このとき、3次元位置方位センサから得られるカメラの位置姿勢 M^C (世界座標系からカメラ座標系への4x4の座標変換行列として表現される)によって、ランドマーク Q_i のカメラ座標は、

【0064】

【数34】

$$Q_{Ci}^{(c)} = \begin{pmatrix} X_{Ci}^{(c)} \\ Y_{Ci}^{(c)} \\ Z_{Ci}^{(c)} \\ 1 \end{pmatrix} = M^{WC} Q_{Wi}$$

…(35)

と推定できる。この Z 成分 $Z_{Ci}^{(c)}$ をランドマーク Q_i の奥行き情報として利用する。第5図に示すように、ランドマーク Q_1, Q_2, Q_3 が画像上で観測されたとする。このとき、行列 U は、各ランドマークの画像座標と、式(35)によって求められる奥行き情報に基づいて、以下のように設定できる。

【0065】

【数35】

$$U' = \begin{pmatrix} x_1 \cdot Z_{C1}^{(c)} & x_2 \cdot Z_{C2}^{(c)} & x_3 \cdot Z_{C3}^{(c)} \\ y_1 \cdot Z_{C1}^{(c)} & y_2 \cdot Z_{C2}^{(c)} & y_3 \cdot Z_{C3}^{(c)} \\ Z_{C1}^{(c)} & Z_{C2}^{(c)} & Z_{C3}^{(c)} \end{pmatrix}$$

…(36)

この行列 U から求めたカメラパラメータ行列 C は、3次元位置方位センサ出力から求められるカメラパラメータ行列 $C^{(c)}$ ($=PM^{WC}$)に対して、3点のランドマーク上での位置ずれを除去するような補正が加えられたものとなる。

【0066】〈2点が観測されている場合〉…第2-2実施例

画像上で2点のランドマークが抽出されている状況を仮定する。この場合、第3のランドマークを仮想的に設定することで、上記と同様にカメラパラメータが推定できる。第6図に示すように、ランドマーク Q_1, Q_2 が観測されたとする。第3の(仮想)ランドマーク Q_3 が、 Q_{W1}, Q_{W2} とは同一直線上にない $Z=0$ 平面上の点 Q_{W3} に存在すると仮定する。ランドマーク Q_1, Q_2, Q_3 の奥行き値 $Z_{Ci}^{(c)}$ を式(35)によって求め、さらに、ランドマーク Q_3 の画像面上への投影座標 $(x^{(c)}_3, y^{(c)}_3)$ を次式によって推定する。

【0067】

【数36】

$$x_3^{(c)} = \frac{X_{C3}^{(c)}}{Z_{C3}^{(c)}} \cdot f$$

…(37)

【0068】

【数37】

$$y_3^{(c)} = \frac{Y_{C3}^{(c)}}{Z_{C3}^{(c)}} \cdot f$$

…(38)

これらを用いて、行列 U を式(36)のように設定する。このようにして求めたカメラパラメータ行列 C は、3次元

位置方位センサ出力から求められるカメラパラメータ行列に対して、2点のランドマーク上での位置ずれを除去するような補正が加えられたものとなる。

【0069】〈1点が観測されている場合〉…第2-3実施例

画像上で1点のランドマークが抽出されている状態で

$$Q^{(c)}_{c1} - Q_{c1}$$

だけカメラの位置情報を平行移動させることで、より簡単にランドマーク上での位置ずれが補正できる。

【0070】〈ステレオと3次元センサによる位置合わせ〉…第3実施例

前述の画像ベースの位置合わせ手法と、センサベースの位置ずれ補正手法を統合する手法を提案する。前述の手法は、入力された3つのランドマーク（仮想を含む）の画像座標 (x_i, y_i) と奥行き情報 Q_i から、式(23)における行列 U を求め、これを解くことでカメラパラメータを表わす行列 C を推定するものであった。第3実施例では、これらの手法を統合することで、ステレオカメラとセンサ情報を併用した位置合わせ手法を実現する。この統合は、左右の画像上でのランドマークの抽出状況にしたがって、各ランドマークの奥行き値の推定手法を適応的に切り替えることで実現する。以下、ランドマークの抽出される状況毎に、カメラ座標の推定手法を述べる。

【0071】〈3点を全て両眼で抽出〉…第3-1実施例
3点を全て両眼で抽出した場合、即ち、3点の全てがステレオカメラで抽出された場合には、その各ランドマークの奥行き値をステレオ情報に基づいて推定する。すなわち、第1実施例（式(30)乃至式(33)）の手法をそのまま適用する。

〈2点を両眼で、1点を単眼で抽出〉…第3-2実施例
3点のうち、2点 (Q_1, Q_2) がステレオカメラによって、1点 (Q_3) を単眼で抽出された場合には、その1点 (Q_3) の奥行き情報は直ちには求まらない。

【0072】そこで、2点 Q_1, Q_2 の奥行き値 Z_{c1}, Z_{c2} を、そのステレオ情報に基づいて推定する。一方、センサ情報に基づいた各ランドマークの奥行き値 $Z^{(s)}_{c1}, Z^{(s)}_{c2}, Z^{(s)}_{c3}$ を式(35)を用いて推定する。さらに、ランドマーク Q_1, Q_2 について、

【0073】

【数38】

$$Z_{ci} = k_i \cdot Z^{(s)}_{ci}$$

…(40)

を満たす係数 k_i を求め、その平均値 k_{av} を算出する。この係数 k_{av} を用いて、

【0074】

【数39】

$$Z_{c3} = k_{av} \cdot Z^{(s)}_{c3}$$

…(41)

も、2点の場合と同様にして仮想のランドマークを2つ想定することで、ランドマーク上での位置ずれが補正できる。ただし、1点の場合は第7図に示すように、カメラ座標系の原点と点 q_1 を通る直線上の、 $Z = Z^{(c)}_{c1}$ となる点 Q_{c1} を求め、

…(39)

によって得られる Z_{c3} を Q_3 の奥行き値として、式(36)から行列 U を求める。

〈1点を両眼で、2点を単眼で抽出〉…第3-3実施例

この場合は、 Q_1 の奥行き値 Z_{c1} をステレオ情報に基づいて推定する。一方、センサ情報に基づいた各ランドマークの奥行き値 $Z^{(s)}_{c1}, Z^{(s)}_{c2}, Z^{(s)}_{c3}$ を式(35)を用いて推定する。さらに、ランドマーク Q_1 について、

【0075】

【数40】

$$Z_{c1} = k_{av} \cdot Z^{(s)}_{c1}$$

…(42)

を満たす係数 k_{av} を求め、式(41)と同様にして Q_2, Q_3 の奥行き値を算出し、式(35)に代入して行列 U を求める。

〈2点を両眼で抽出〉…第3-4実施例

この場合には、 Q_1, Q_2 の奥行き値 Z_{c1}, Z_{c2} をステレオ情報に基づいて推定し、センサ情報に基づいた奥行き値 $Z^{(s)}_{c1}, Z^{(s)}_{c2}$ から係数 k_{av} を算出する。さらに、第2実施例と同様の手法を用いて、第3の（仮想）ランドマーク Q_3 の画像座標 $(x^{(s)}_3, y^{(s)}_3)$ と奥行き値 $Z^{(s)}_{c3}$ を推定し、式(41)によって得られる Z_{c3} を Q_3 の奥行き値とする。これらの値を式(35)に代入して行列 U を求める。

【0076】〈1点を両眼で、1点を単眼で抽出〉…第3-5実施例

Q_1 の奥行き値 Z_{c1} をステレオ情報に基づいて推定し、センサ情報に基づいた奥行き値 $Z^{(s)}_{c1}$ から係数 k_{av} を算出する。また、センサ情報に基づいて、 Q_2 の奥行き値 $Z^{(s)}_{c2}$ と、第3の（仮想）ランドマーク Q_3 の画像座標 $(x^{(s)}_3, y^{(s)}_3)$ と奥行き値 $Z^{(s)}_{c3}$ を推定し、式(40)によって Q_2, Q_3 の奥行き値を算出する。これらの値を式(35)に代入して行列 U を求める。

【0077】〈1点を両眼で抽出〉…第3-6実施例

Q_1 のカメラ座標 Q_{c1} をステレオ情報に基づいて推定し、第2-3実施例の手法によってカメラ位置を補正する。

〈ステレオ情報が得られない場合〉…第3-7実施例

ステレオ情報が得られない場合とは、 m 点を単眼で抽出した場合であり、各ランドマークの奥行き値を、センサ情報に基づいて推定する。すなわち、第2実施例の手法をそのまま適用する。

【0078】〈処理選択の制御〉前述したように、本発明のカメラパラメータの決定装置は、装着されているセンサもしくはカメラの有無や数によって処理が異なる。また、センサもしくはカメラに変更がなくとも、画像と

して検出されたランドマークの数によっても、第1実施例乃至第3実施例のいずれかの形態をとることが適応的に要求される。この選択は、例えばパラメータ推定モジュール300が行う。

【0079】即ち、モジュール300は、決定装置にかなりのデバイスが装着されているかを不図示のインタフェースを介して知ることができる。デバイスの種類/数などを知ったならば、モジュール300は、座標検出モジュール200に問い合わせ、現在カメラから取り込んでいる画像中にいくつのランドマークが捕捉されているかを調べる。その結果、奥行き推定モジュール100に対して、処理アルゴリズム（第1実施例乃至第3実施例）の切り換え命令を発する。

【0080】〈実験結果〉以上の位置合わせ手法の有効性を評価するための実験を行った。実験には、6自由度の磁気方位センサ（Polhemus社Fastrak）と小型カラーCDカメラ（ELMO社MN-421）2台を装着したHMDを使用した。提示映像の生成には、左右の映像それぞれに対して1台のSiliconGraphic社製ワークステーション02を使用した。またランドマーク追跡の画像処理は、PCに搭載した2台の日立製画像処理ボードIP5005によって行った。カメラからの映像は02と画像処理ボードに分岐入力し、PCから02へのデータ転送はイーサネットでのパケット通信によって行った。

【0081】現実空間のランドマークとして、世界座標の既知な複数の点に赤色のマークを設置した。あらかじめ設定したマーク色の（YUV空間における）存在範囲にしたがって、画像処理ボードは入力画像に二値化、ラベリング処理を施し、各クラスタの重心の座標をビデオレートで抽出する。抽出された座標データは02に転送され、センサ情報から得られる各ランドマークの予測観測位置との比較により、ランドマークの同定が行われる。

【0082】構築したシステムにおける提示画像の更新レートは平均10Hzであった。磁気センサのみを用いた場合の更新レートも同じく10Hzであり、位置合わせのための演算がシステム全体のパフォーマンスに与える影響は、ほとんど無視できる程度のものであることが確認された。提案した手法の定量的評価を行うために、同一の状況に対していくつかの位置合わせアルゴリズムを適用し、位置ずれの変化を計測した。位置ずれの計測は、ランドマーク以外に3次元位置の既知な基準点を多数用意して、ランドマークや基準点の各点での位置ずれの大きさの平均値を算出することで行った。実験は、(a)3点両眼、(b)2点両眼+1点単眼、(c)1点両眼+2点単眼、(d)3点単眼、(e)2点両眼、(f)1点両眼+1点単眼、(g)2点単眼、(h)1点両眼、(i)1点単眼のランドマーク情報と3次元位置方位センサ情報を併用した場合と、(j)3次元位置方位センサのみを用いた場合について行った。

【0083】実験に使用した入力画像（データA：右眼画像）を第8図に、上記(a)、(d)、(e)、(j)の各条件での

実験の融合結果を第9図乃至第12図に示す。図中“□”印は抽出されたランドマーク位置を示す。仮想物体としては、現実の立方体に対してそのワイヤフレームモデルのCG図形を重畳して表示した。各条件での誤差の値を第13図に示す。第13図乃至第15図中、横軸が上記(a)乃至(j)の手法、縦軸が発生した位置ずれを示している。さらに、観測対象とHMD、磁気センサのエミッタとの位置関係を変化させながら同様の実験を行った結果を第14図乃至第15図に示す。データBはHMDをエミッタから遠く、観測対象により近い位置に、データCはHMDを観測対象から離れた位置に設置した場合の結果である。単眼のみを用いる手法を比較すると、3点の特徴点を用いる手法(d)はいずれも高い精度で位置合わせが可能であり、2点(g)、1点(i)の位置ずれ補正によっても、補正を行わない場合(j)に比べ格段の精度の向上が得られていることがわかる。

【0084】また、ステレオの情報による位置合わせの効果を見ると、データA（第13図）、データC（第15図）では、1点の場合(h)を除いて、ステレオの情報を用いない場合のほうが誤差が小さいという結果となった。これは、既知として与えたカメラ間の相対位置や画像処理による特徴点抽出の誤差の影響と考えられる。一方、データBの状況においては、ステレオの情報を用いることで、位置合わせ精度が向上していることがわかる。これは、ステレオによる距離情報推定の精度がカメラから物体までの距離と反比例の関係にあり、観察対象が近くに存在するデータBの状況においてはステレオ画像処理による距離情報の精度が比較的良かったためであると想像される。

【0085】〈ソフトウェアとしての組み込み〉本決定装置は、カメラの視点位置を精度よく検出して、その検出された視点での座標変換パラメータ、即ち、カメラパラメータを出力するものである。カメラパラメータの出力は、座標変換行列Cの行列要素を出力することに他ならない。この座標変換行列Cの行列要素の決定・出力をソフトを用いて行うときは、その決定のための処理ルーチンは、ARもしくはMRのためのアプリケーション・プログラムに組み込むことも可能であるが、HMD本体内もしくはカメラ本体内にROMとして組み込んでよい。行列要素の決定処理はユーザ側よりもHMD装置や位置姿勢センサのメーカ側が開発した方が好都合だからである。

【0086】また、パソコンやワークステーションに適用するときは、ドライバソフトウェアとして組み込む。〈実施形態及び実施例の効果〉本明細書では、現実空間と仮想空間の融合技術に関連して、ステレオカメラと3次元センサを併用した位置合わせ手法を提案した。この手法により、センサベースと画像ベースの位置合わせ手法を同一の枠組みで扱うことが可能となった。

【0087】第2実施例、第3実施例に述べた手法は、

画像処理によって得られる情報が、常に最も信頼性が高いという前提に基づいている。しかし、実験結果からも明らかなように、ステレオによって得られる距離情報の精度は、ランドマークまでの距離と依存関係にある。一方、3次元位置方位センサの精度は、センサ固有の計測範囲にしたがって変化する。今後はこのような画像処理およびセンサの特性にしたがって、情報の信頼性を評価し、それに応じて最適な解を選択するような位置合わせ手法を検討することが重要といえる。

【0088】また、本手法によって求められる座標変換は座標軸の直交性を保持していないため、仮想空間に不自然な変形が施される場合がある。このような状況への対処も今後の課題といえる。

【0089】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、3つのランドマークによって、位置姿勢を正確に検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態に位置姿勢検出装置において、1つの視点と3つのランドマークとの配置関係を説明する図。

【図2】 $Z=0$ でない任意の平面に一般化したときの補正の手法を説明する図。

【図3】 実施形態の装置の構成を説明する図。

【図4】 2つの視点位置と1つのランドマークとの関係を説明する図。

【図5】 ランドマークを3点用いる場合におけるカメラ姿勢パラメータを決定する原理を説明する図。

【図6】 ランドマークを2点を用い、一点を仮想する

場合におけるカメラ姿勢パラメータを決定する原理を説明する図。

【図7】 ランドマークを1点用い、2点を仮想する場合におけるカメラ姿勢パラメータを決定する原理を説明する図。

【図8】 本発明の実施例を用いた実験に用いられた物体の斜視図。

【図9】 3点のランドマークをステレオカメラを用いて行った実験で実験対象物の上に仮想図形とが重なって表示されることを説明する図。

【図10】 3点のランドマークを、単眼カメラと3次元センサとを用いて行った実験で実験対象物の上に仮想図形とが重なって表示されることを説明する図。

【図11】 2点のランドマークを、ステレオカメラと3次元センサとを用いて行った実験で実験対象物の上に仮想図形とが重なって表示されることを説明する図。

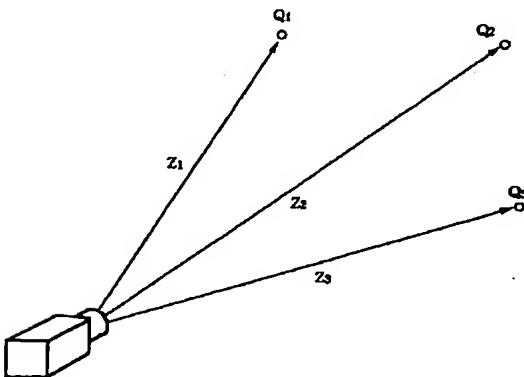
【図12】 3次元センサのみを用いて行った実験で実験対象物の上に仮想図形とが重なって表示されることを説明する図。

【図13】 データAについて、条件a乃至jと変えていったときの夫々において発生した位置ずれを説明する図。

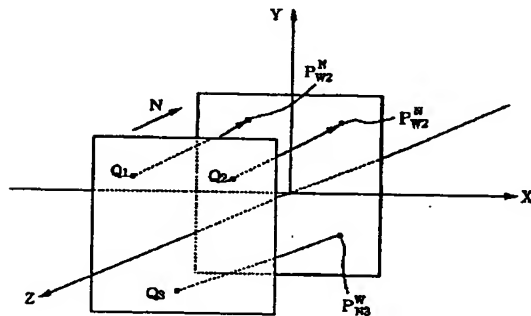
【図14】 データBについて、条件a乃至jと変えていったときの夫々において発生した位置ずれを説明する図。

【図15】 データCについて、条件a乃至jと変えていったときの夫々において発生した位置ずれを説明する図。

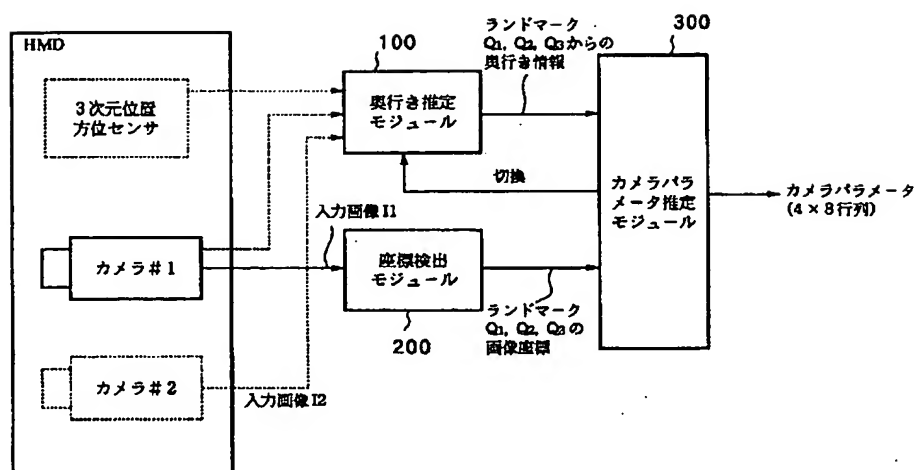
【図1】



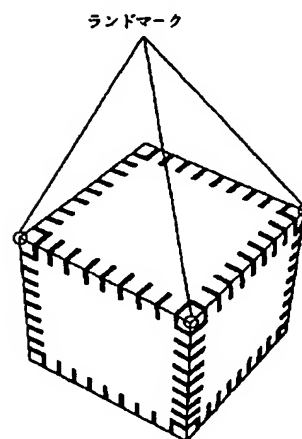
【図2】



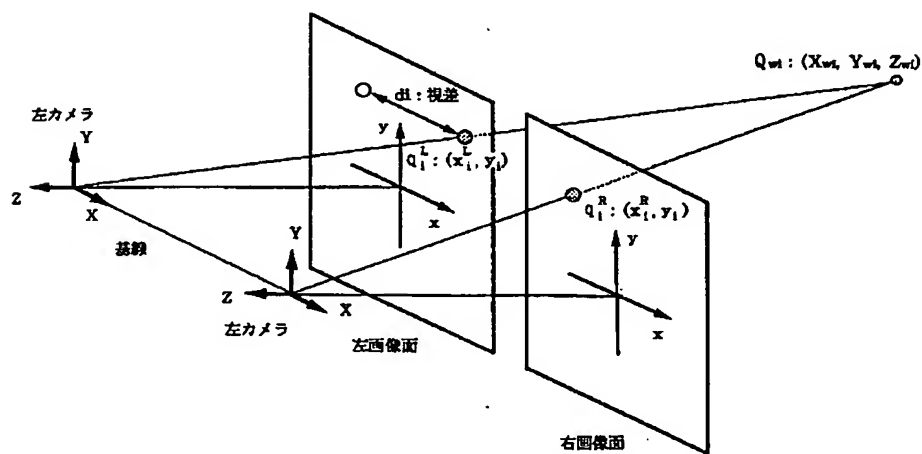
【図3】



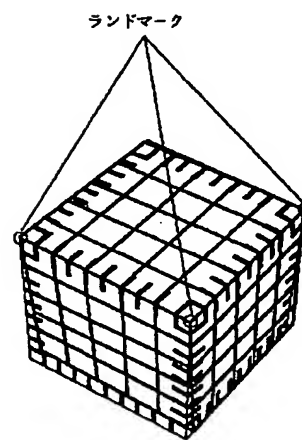
【図8】



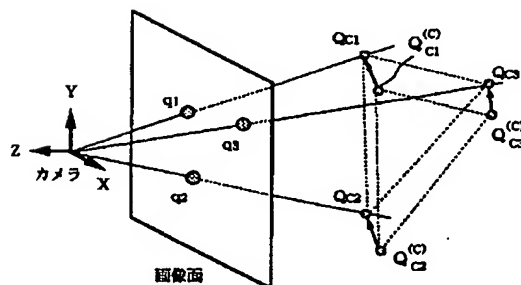
【図4】



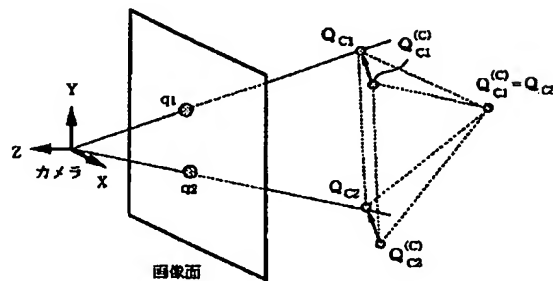
【図9】



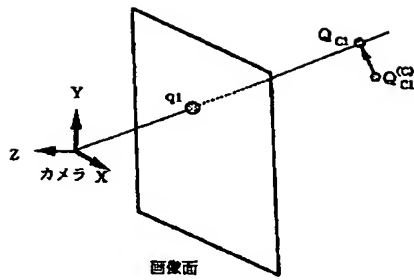
【図5】



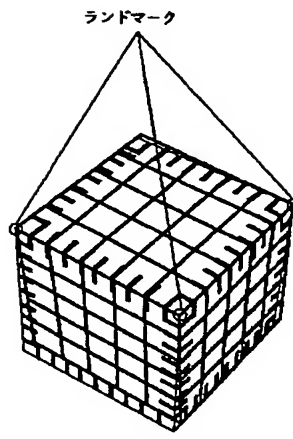
【図6】



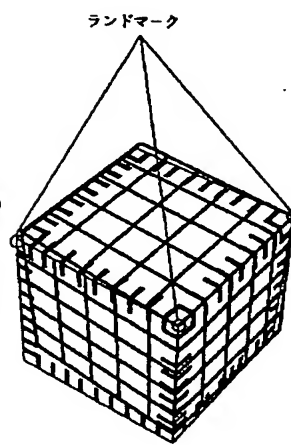
【図7】



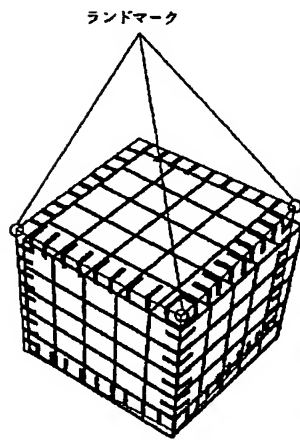
【図10】



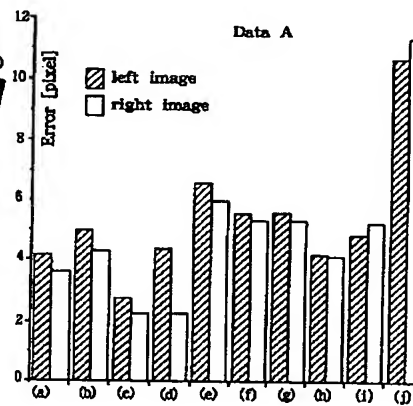
【図11】



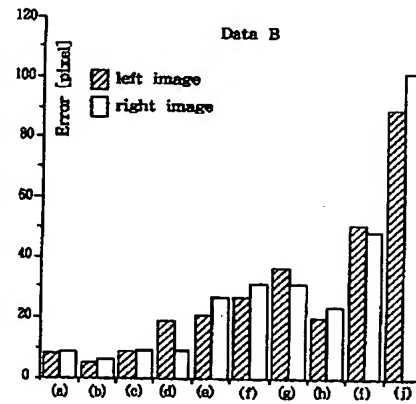
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

